

### Заклучение

В данной работе были исследованы возможности программного пакета ANSYS на примере задачи по расчёту тонкостенной оболочки. Расчёт данной задачи трудоёмок вследствие возникающих изгибающих моментов. Аналитический расчёт данной задачи трудоёмок из-за возникновения краевого момента в месте крепления и месте сопряжения конуса и цилиндра [2, 3].

Изображения полученные в ANSYS, позволяют сделать вывод о прочности и жесткости конструкции, подобрать необходимую толщину оболочки и дать рекомендации по конструкции. По изображениям видно, что в месте сопряжения конуса и цилиндра нужно установить кольцо, чтобы конструкция не потеряла жесткость.

### Список цитированных источников

1. Любощиц, М.И. Справочник по сопротивлению материалов / М.И. Любощиц, Г.М. Ицкович. – Мн.: Вышэйшая школа, 1969. – 340 с.
2. Конохов, А.В. Основы анализа конструкций в ANSYS. – Казань, 2001.
3. Руководство по основным методам проведения анализа в программе ANSYS.
4. Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли. Часть 1: Тонкостенные сосуды и аппараты химических производств: учебное пособие. – Томск, 2003.

УДК 621.906-529

Фу Чао (КНР)

Научный руководитель: доцент Медведев О.А.

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА СВЕРЛЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМАЛЬНОЙ ТРУДОЕМКОСТИ

При проектировании высокопроизводительных технологических операций большое значение имеет определение оптимальных режимов резания, обеспечивающих минимально возможное, в данных условиях, значение основного времени. Поэтому математическая зависимость основного времени от параметров режима резания может использоваться в качестве функции (критерия) оптимизации. Для сверления отверстий спиральными сверлами основное время определяется по формуле:

$$T_o = \frac{L}{n \cdot s}, \quad (1)$$

где  $L$  – путь резания, мм;  $n$  – частота вращения заготовки или инструмента, мин<sup>-1</sup>;  $s$  – оборотная подача, мм/об.

Теоретически, минимум основного времени будет достигнут при бесконечно больших значениях  $n$  и  $s$ , но реализовать такие режимы невозможно, ввиду действия ряда ограничений на параметры режима резания: по стойкости режущего инструмента; по мощности привода главного движения сверлильного станка; по предельным паспортным частотам вращения и подачам шпindelа станка; по предельно допустимой силе привода подач станка и др.

Для определения реальных оптимумов  $n$  и  $s$ , удовлетворяющих всем указанным ограничениям, необходимо выразить эти ограничения в виде математических неравенств и решить их численно или графически совместно с функцией оптимизации.

Ограничение по стойкости режущего инструмента можно получить из эмпирической формулы для расчета скорости резания при сверлении (2) и выражения взаимосвязи скорости резания с частотой вращения сверла (3) [1].

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot s^y}, \quad (2)$$

где  $C_v$  – параметр обрабатываемости;  $D$  – диаметр сверла, мм;  $T$  – нормативная стойкость сверла, мин;  $s$  – оборотная подача, мм/об;  $K_v$  – поправочный коэффициент;  $m, y$  – показатели степени.

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \quad (3)$$

где  $D$  – диаметр сверла, мм;  $n$  – частота вращения сверла, мин<sup>-1</sup>.

Приравняв (2) и (3), получим ограничение на  $n$  и  $s$  по стойкости сверла

$$n \cdot s^y \leq \frac{1000 \cdot C_v \cdot D^q \cdot K_v}{\pi \cdot D \cdot T^m}. \quad (4)$$

Ограничение по мощности получим на основе эмпирической формулы (5) для расчета крутящего момента при сверлении, формулы (6) для расчета эффективной мощности резания [1] и соотношения (7) между мощностью электродвигателя привода главного движения станка и эффективной мощностью резания и коэффициентом полезного действия привода:

$$M_{kp} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p, \quad (5)$$

где  $C_M$  – параметр обрабатываемости;  $D$  – диаметр сверла, мм;  $s$  – оборотная подача сверла, мм/об;  $y, q$  – показатели степени;  $K_p$  – поправочный коэффициент на силу и момент резания.

$$N_3 = \frac{M_{kp} \cdot n}{9750}, \text{ кВт}; \quad (6)$$

$$N_3 \leq N \cdot \eta, \quad (7)$$

где  $\eta$  – КПД привода главного движения станка.

Подставив (5) в (6), затем полученное выражение для  $N_3$  в (7), после преобразований получим ограничение на  $n$  и  $s$  по мощности привода главного движения станка:

$$n \cdot s^y \leq \frac{975 \cdot N \cdot \eta}{C_M \cdot D^q \cdot K_p}. \quad (8)$$

Ограничения по предельным паспортным частотам вращения шпинделя  $n_{min}$  и  $n_{max}$  и предельным паспортным оборотным подачам сверлильного станка  $s_{min}$  и  $s_{max}$  выразим следующими неравенствами:

$$n \geq n_{min}, \quad (9)$$

$$n \leq n_{max}, \quad (10)$$

$$s \geq s_{min}, \quad (11)$$

$$s \leq s_{max}. \quad (12)$$

Ограничение на подачу при сверлении с учетом марки обрабатываемого материала принимаем из нормативов [2].

$$s \leq s_T \cdot K_{sm}, \quad (13)$$

где  $s_T$  – табличное значение подачи [2];  $K_{sm}$  – поправочный коэффициент на подачу для измененных условий работы в зависимости от механических свойств обрабатываемого материала.

Ограничение на частоту вращения сверла с учетом обрабатываемого материала, применения охлаждения, состояния поверхности заготовки, марки инструментального материала, формы заточки сверла, длины рабочей части сверла, покрытия инструмента принимаем из нормативов [2].

$$V \leq V_T \cdot K_{vm} \cdot K_{vxc} \cdot K_{vvo} \cdot K_{vi} \cdot K_{vz} \cdot K_{vi} \cdot K_{vm} \quad (14)$$

где  $V_T$  – табличное значение скорости резания [2];  $K_{vm}; K_{vxc}; K_{vvo}; K_{vi}; K_{vz}; K_{vi}; K_{vm}$  – поправочные коэффициенты на скорость резания.

Подставив (14) в (3), после преобразований получим ограничение на  $n$  с учетом указанных ранее факторов:

$$n \leq \frac{1000 \cdot V_T \cdot K_{vm} \cdot K_{vxc} \cdot K_{vvo} \cdot K_{vi} \cdot K_{vz} \cdot K_{vi} \cdot K_{vm}}{\pi \cdot D} \quad (15)$$

Ограничение на подачу сверла по предельной силе, допускаемой приводом подачи сверлильного станка, составим исходя из эмпирической формулы для расчета осевой силы при сверлении [1].

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p \quad (16)$$

где  $C_p$  – параметр обрабатываемости;  $D$  – диаметр сверла, мм;  $s$  – осевая подача сверла, мм/об;  $y, q$  – показатели степени;  $K_p$  – поправочный коэффициент на осевую силу.

Подставив в уравнение (16) вместо  $P_o$  предельную допустимую силу  $P_T$  привода подачи сверлильного станка, указанную в его паспорте, получим ограничение на  $s$  по силе подачи:

$$s^y \leq \frac{P_T}{10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot K_p} \quad (17)$$

Чтобы иметь возможность использовать наглядные и простые графические методы линейного программирования для определения реальных оптимумов  $n$  и  $s$ , нужно привести все ограничения и функцию оптимизации к линейному виду путем логарифмирования. Для упрощения записи ограничений в линейном виде примем следующие обозначения:

$$E = \ln n; \quad F = \ln s; \quad H_i, \quad (18)$$

где  $H_i$  – натуральный логарифм правой части  $i$ -го ограничения, не содержащей  $n$  и  $s$ .

Функцию оптимизации перед логарифмированием представим в более удобном виде:

$$n \cdot s = \frac{L}{T_o} \quad (19)$$

Все ограничения (4), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (15), (17) и функцию оптимизации (19) после логарифмирования и подстановки принятых обозначений объединим в систему неравенств (20).

$$\begin{aligned} I) E + y \cdot F \leq H_1, \quad IV) E \leq H_4, \quad VII) F \leq H_7, \\ II) E + y \cdot F \leq H_2, \quad V) F \geq H_5, \quad VIII) E \leq H_8, \quad X) E + F = \max. \\ III) E \geq H_3, \quad VI) F \leq H_6, \quad IX) y \cdot F \leq H_9, \end{aligned} \quad (20)$$

По виду линейной функции оптимизации (после логарифмирования) можно сделать вывод, что ее график будет представлять собой прямую линию, расположенную под углом  $45^\circ$  к осям координат  $E$  и  $F$ . Чем больше значение правой части функции, тем больше координаты точек пересечения ее графика с осями  $E$  и  $F$ .

Графическое определение оптимумов  $n$  и  $s$  можно выполнить следующим образом. На плоскости в системе координат  $E$  и  $F$  строят графики всех линейных ограничений из системы (20), кроме функции оптимизации (последнее выражение в системе). Эти прямые линии образуют замкнутую область, любая точка которой соответствует допустимым значениям  $n$  и  $s$  по всем ограничениям. Реальному оптимальному режиму резания будет соответствовать та точка допустимой области (включая ее границы), координаты  $E_{\max}$  и  $F_{\max}$ , которой приведет к допустимому максимуму правой части линейной функции

оптимизации. Очевидно, что это будет точка касания допустимой области с прямой линией, проведенной под углом  $45^\circ$  к осям координат  $E$  и  $F$  и примыкающей к этой области справа или сверху. Реальные оптимальные значения параметров режима резания определяются потенцированием:

$$n_{\max} = e^{E_{\max}}; \quad (21)$$

$$S_{\max} = e^{F_{\max}}; \quad (22)$$

В качестве примера, поясняющего применение предлагаемой методики оптимизации режимов сверления, на рисунке 1 представлены графики ограничений и функции оптимизации, полученные для следующих условий сверления: вид заготовки – толстолистовой прокат; материал заготовки – сталь 20Х13; диаметр сверла  $D = 14$  мм; длина сверления  $L = 30$  мм; точность диаметра после обработки – по 14 качеству; сверление выполняется на вертикально-сверлильном станке с ЧПУ модели 2Р135Ф2.

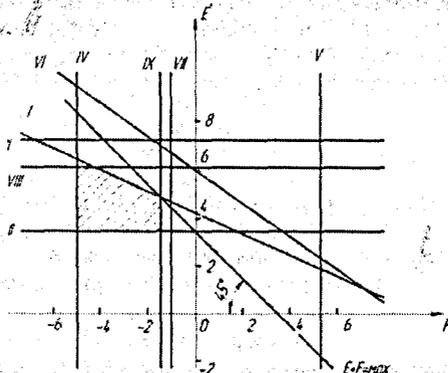


Рисунок 1 – Графическое определение оптимальных режимов сверления по критерию минимальной трудоемкости

Таким образом, предлагаемая методика позволяет учесть наиболее существенные характеристики технологической системы сверлильного станка и определить приемлемые режимы сверления, обеспечивающие максимально возможную производительность обработки в данных условиях.

#### Список цитированных источников

1. Справочник технолога машиностроения: в 2-х т. / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Сулпова, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001.
2. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ. – М.: Экономика, 1990. – Часть 2.

УДК 621

Халецкий Е.А.

Научный руководитель: ст. преподаватель Добряник Ю.А.

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Значительное влияние состояния поверхностного слоя деталей машин на их основные эксплуатационные свойства, а также вида и режимов механической обработки на отдельные характеристики состояния поверхностного слоя (высоту шероховатости